جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و پنج، بهار ۱۳۹۷

صص ۱۵-۱

DOI: 10.22067/geo.v7i1.66173

پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS (از روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهر چای)

محمدحسین رضایی مقدم[1]- استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

مهدی یاسی- دانشیار مهندسی رودخانه، دانشگاه تهران، تهران، ایران

محمدرضا نیکجو- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

مسعود رحیمی- دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/٤/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹٦/۹/۱۳

چکیده

سیلاب‌ها ازجمله مخاطرات طبیعی هستند که هرساله خسارات بسیار زیادی را برای ساکنین دشت‌های سیلابی به بار می‌آورد. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف ازجمله روش‌های متداولی است که جهت نمایش پتانسیل مخاطرات سیلابی مورداستفاده قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر، که خطر وقوع سیلاب را در ۷۲ کیلومتر از رودخانه قره‌سو در محدوده استان اردبیل موردبررسی قرار می‌دهد، جهت شبیه‌سازی سیلاب از مدل هیدرودینامیکی یک‌بُعدی HEC-RAS استفاده شد و پیش‌پردازش و پس پردازش داده‌های ژئومتری و هیدرومتری در محیط نرم‌افزاری GIS توسط الحاقی HEC-GeoRAS صورت پذیرفت. نتایج پهنه‌بندی سیلاب رودخانه قره‌سو نشان داد که با رخداد سیلابی با دورهٔ بازگشت ۲۵ سال، مساحتی در حدود ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات حاشیه رودخانه قره‌سو به زیرآب رفته و خساراتی را برای کشاورزان این منطقه به وجود خواهد آورد. همچنین نتایج نشان داده که عرض پهنای سیل گیر برای دوره بازگشت ۲۵ سال در بازه‌های دوم، سوم و چهارم تا ۵۵۰ متر نیز می‌رسد. بر این اساس لزوم توجه به اقدامات اساسی در زمینه مدیریت دشت‌های سیلابی در این منطقه ضرورت می‌یابد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، مدل HEC-RAS، دشت سیلابی، دوره بازگشت، رودخانه قره‌سو

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٤٤۱٤۲۱۹۰ Email: Rezmogh@yahoo.com

۱- مقدمه

در حال حاضر، سیلاب‌ها یکی از بزرگ‌ترین تهدیدات امنیت اجتماعی و توسعه پایدار هستند که برآورد می‌شود هرساله زندگی ۲۰-۳۰۰ میلیون انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Hirabayashi & Kanae, 2009). درواقع سیلاب‌ها از ویرانگرترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی هستند که همچنان به‌عنوان یک نگرانی در بیشتر بخش‌های جهان به شمار می‌آیند (Wilby et al., 2012; Kundzewich, 2012; Jha, 2010). همچنین ایجادکنندهٔ مخاطرات ژئومورفیکی از طریق تغییرات در شکل مجرا و انتقال رسوب می‌باشند. تحلیل اثر سیلاب‌ها بر روی مورفولوژی مجرا و انتقال رسوب، یکی از توجهات اصلی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای بوده است (Wohl, 2000). در دهه‌های اخیر مطالعات بر روی سیلاب‌های رودخانه‌ای افزایش‌یافته و یک جهشی در این مطالعات به سمت مدیریت ریسک سیلاب به وجود آمده است. مدل‌های پخش سیلاب[1] ابزارهایی هستند که می‌توانند هیدرولیک رودخانه و سیلاب‌های رخ‌داده در دشت سیلابی را شبیه‌سازی کنند (Horrit, 2007). به‌عبارت‌دیگر مدل‌های پخش سیلاب ابزار مفیدی برای مدیریت دشت سیلابی هستند. این توانایی در پیش‌بینی سیلاب در کاهش پتانسیل خسارت سیلاب به‌صورت حفاظت از کاربری‌های اراضی اطراف رودخانه، بالا بردن سطح آگاهی مردمان ساکن در اطراف دشت سیلابی و جلوگیری از ساخت‌وسازها در محدوده ممنوعه دشت سیلابی بسیار مفید بوده است (Di Baldassarre, 2010). در این میان نقشه پهنه‌بندی سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف یکی از متداول‌ترین نقشه‌هایی است که برای نمایش پتانسیل مخاطرات در دشت سیلابی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Bates, 2005).

با توجه به پیشرفت سریع علم GIS در سال‌های اخیر و قابلیت بالای رایانه‌ها در حل مسائل پیچیده و حجیم، استفاده از GIS برای نیل به این اهداف افزایش پیداکرده است تا جایی که امروزه برای افزایش دقت و سرعت پهنه‌بندی سیلاب، استفاده از GIS مرسوم شده و انجام پهنه‌بندی به‌صورت دستی و با روش‌های قدیمی، بدون به‌کارگیری GIS معنایی ندارد (اززنلو، ۱۳۹٤). به منظور پهنه‌بندی دشت سیلابی، مدل‌های یک‌بعدی بیشتر مورداستفاده قرارگرفته و هنوز هم به‌طورمعمول به کار گرفته می‌شوند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ قمی اویلی و همکاران، ۱۳۸۹؛ غفاری و امینی، ۱۳۸۹؛Knebl et al., 2005؛Yang et al., 2006; Machado et al., 2007; Patro et al., 2009).

تنظیم این مدل‌ها آسان بوده و محاسبات، سریع صورت می‌گیرند (Merwade, 2004). در این رابطه، HEC-RAS یک مدل هیدرولیکی است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیک[2] بخش مهندسی ارتش ایالات‌متحده آمریکا توسعه‌یافته است (Maidment &Tate, 1999). سیستم HEC-RAS شامل چهار مؤلفه تحلیل یک‌بعدی رودخانه به‌منظور: (۱) محاسبات پروفیل سطح آب جریان ماندگار؛ (۲) شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار؛ (۳) محاسبات انتقال رسوب مرزی متحرک و (٤) تحلیل کیفیت آب است (Hydrologic Engineering Center, 2010). نتایج مدل،

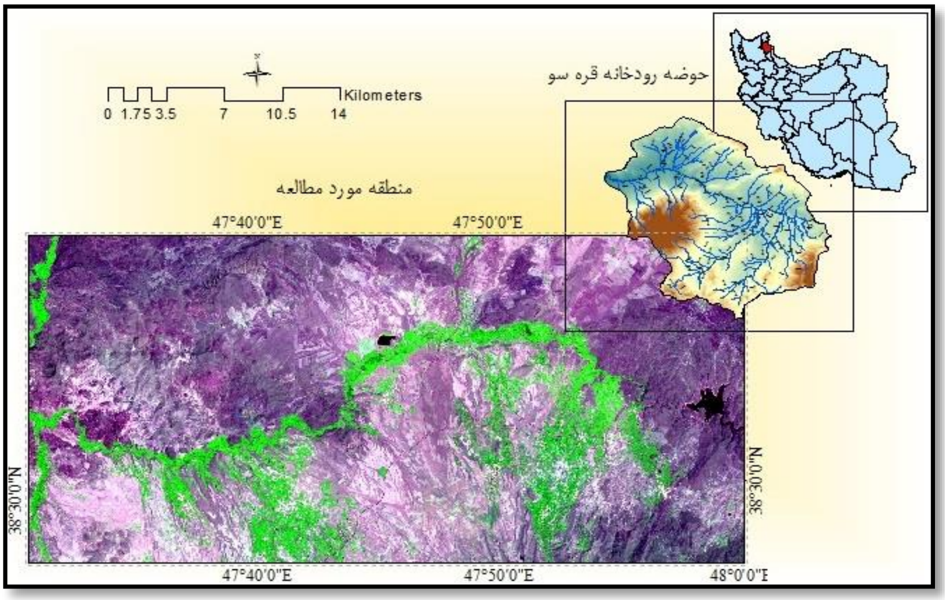
1 Flood Inundation Models
2 Hydrologic Engineering Center

مخصوصاً در مدیریت دشت سیلابی و مطالعات بیمه سیل، به‌منظور ارزیابی اثرات تجاوز به مسیر سیلاب، مورداستفاده قرار می‌گیرند (Maidment &Tate, 1999). در این تحقیق، خطر وقوع سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف در طول ۷۲ کیلومتر از رودخانه قره‌سو (از روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهر چای) موردبررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه قره‌سو یکی از رودخانه‌های دائمی استان اردبیل است که از دامنه‌های شمالی کوه سبلان سرچشمه گرفته و پس از اتصال رودخانه اهر چای به‌عنوان رودخانه دره رود شناخته‌شده و در نزدیکی شهرستان اصلاندوز به رودخانه ارس ملحق می‌شود. منطقه موردمطالعه در بین عرض‌های '۵۶ °۳۰ ۳۸ تا ″۳۴ ۳۸°۳۵ شمالی و طول‌های '۴۸ ۴۷°۵۵ تا ″۲۱ '۲۱ ۴۷°۳۱ شرقی واقع‌شده است (شکل ۱). از رودخانه‌های مهمی که قبل از پیوستن اهر چای به رودخانه قره‌سو می‌ریزند می‌توان به رودخانه‌های بالیخلی چای و خیاوچای اشاره کرد. منطقه موردمطالعه در این پژوهش بازه‌ای از این رودخانه است که از روستای پیرازمیان شروع شده و در تلاقی رودخانه اهرچای به پایان می‌رسد. طول تقریبی رودخانه در این بازه ۷۲ کیلومتر می‌باشد. ازجمله روستاهای استقراریافته در حاشیه این رودخانه می‌توان به روستاهای پیرازمیان، لمبر، قدیرلو، کنگرلو، قاراداش، لعل گنج، آق درق، جبدرق و روستای دوست بیگلو اشاره کرد.



شکل ۱. موقعیت منطقه موردمطالعه در شمال غرب کشور (استان اردبیل)

۲-۲- استخراج داده

جهت شبیه‌سازی سیلاب مجرای رودخانه قره‌سو از نقشه‌های بزرگ مقیاس ۱:۲۰۰۰ شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل استفاده شد. این نقشه‌ها پس از انجام اصلاحات در نرم‌افزار Arc GIS تبدیل به نقشه TIN شده و سپس با استفاده از الحاقی[۱] HEC-GeoRAS خط مرکزی جریان[۲]، مسیر جریان[۳] و خط کناره‌های رودخانه[٤] و مقاطع عرضی[٥] از ساحل چپ به سمت ساحل راست بر روی مجرای رودخانه قره‌سو ترسیم گردید. بر اساس خطوط ترسیم‌شده، سه بعد فاصله مختلف، توسط این الحاقی شامل، فاصلهٔ مقاطع عرضی از یکدیگر در کناره چپ رودخانه، فاصله مقاطع عرضی از هم در کناره راست رودخانه و فاصله مقاطع در بستر آبراهه اصلی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. این داده‌های هندسی به همراه داده‌های جریان رودخانه شامل رژیم جریان، دبی، شرایط اولیه و شرایط مرزی در محیط نرم‌افزاری HEC-RAS برای دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از حل روابط اصلی (رابطه ۱ و ۲) شبیه‌سازی شد. اطلاعات دبی شامل حداقل یک مقدار جریان در طول هر بازه در سیستم رودخانه می‌باشد. شرایط اولیه و مرزی، برحسب ترازهای سطح آب اولیه در بالادست و پایین‌دست، هیدرو گراف جریان یا منحنی سنجه تعیین می‌شود (Merward, 2004). مدل HEC-RAS محاسبات پروفیل سطح آب را برای جریان پایدار متغیر تدریجی در رودخانه‌ها و کانال‌های مصنوعی در رژیم‌های جریان زیربحرانی، فوق بحرانی و مختلط می‌تواند انجام دهد. محاسبه پروفیل سطح آب با شروع از یک مقطع عرضی به‌طرف مقاطع دیگر به‌وسیله حل معادله انرژی به روش استاندارد گام‌به‌گام انجام می‌شود. معادله انرژی به‌صورت زیر است:

$$Z_1 + Y_1 + a_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + a_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e \qquad \text{(۱) رابطه}$$

Z = ارتفاع بستر، Y = عمق آب، V= سرعت متوسط، α = ضریب تصحیح بار سرعت، h_e = افت انرژی کل، g = شتاب ثقل.

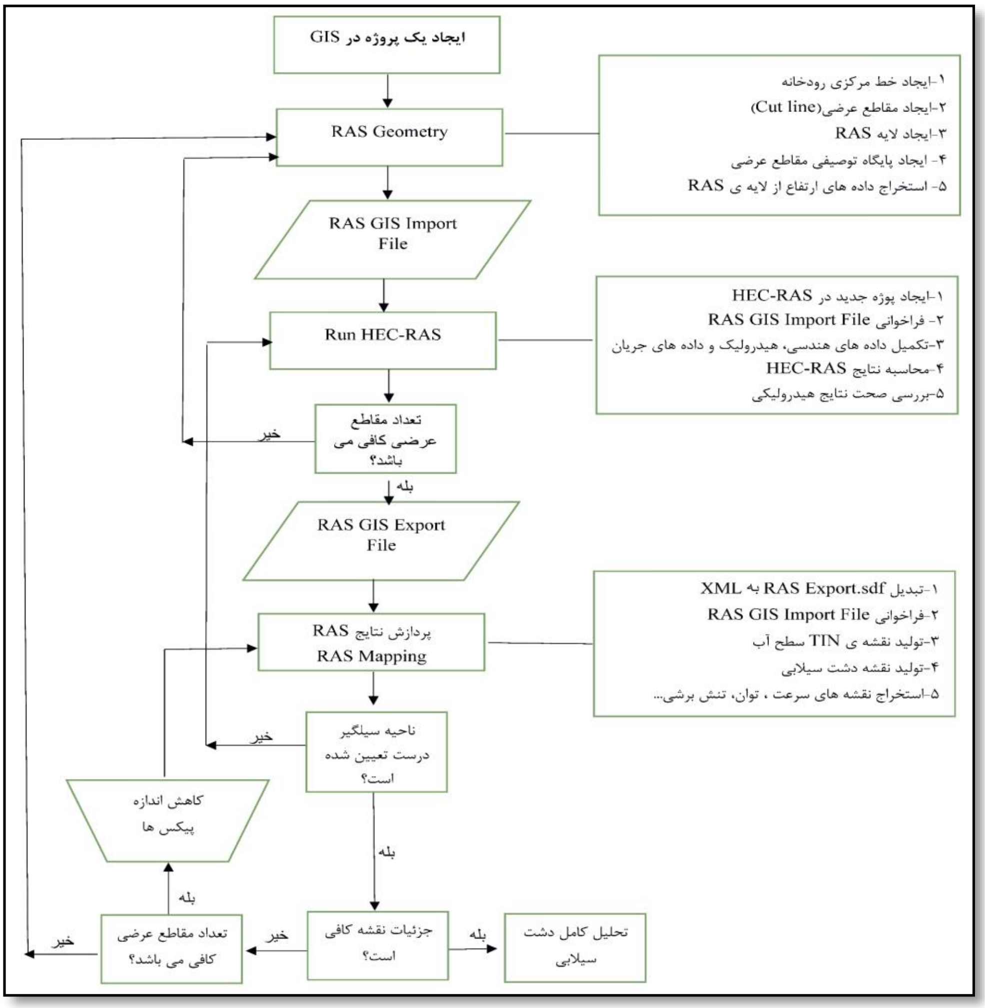
معادله مومنتم موجود در مدل HEC -RAS به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (Brunner, 2010):

$$\frac{Q_2^2\beta_2}{gA_2} + A_2\overline{y_2} + \left(\frac{A_1+A_2}{2}\right)LS_0 - \left(\frac{A_1+A_2}{2}\right)L\overline{S_f} = \frac{Q_1^2\beta_1}{gA_1} + A_1\overline{y_1} \qquad \text{(۲) رابطه}$$

1 Extension
2 Center Line
3 Flow Path
4 River Banks
5 Cross Section

β= ضریب تصحیح مومنتوم، $\bar{y}$ = عمق اندازه‌گیری شده از سطح آب تا مرکز ثقل سطح مقطع جریان، A= مساحت منطقهٔ مرطوب زیر مقطع عرضی، S= شیب کانال، L= فاصله بین مقاطع، Q= جریان دبی.

در ادامه نتایج حاصل از مدل‌سازی هیدرولیکی به محیط Arc GIS منتقل گردید تا از آن‌ها مدل رقومی تراز آب ایجاد گردد. درنهایت نقشه پهنه‌های سیلابی از مقایسه و بررسی مدل رقومی زمین و مدل رقومی تراز آب در محیط Arc GIS به دست آمد. در این تحقیق جهت استخراج داده‌های حداکثر دبی روزانه رودخانه قره‌سو از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری ارباب کندی و دوست بیگلو استفاده گردید. با استفاده از این داده‌ها دوره‌های بازگشت و رابطه دبی و اشل محاسبه گردید.



شکل ۲. روند شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از الحاقی HEC-GeoRAS و مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS (Cameron, 2009)

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پهنه‌بندی سیلاب‌های رودخانه قره‌سو

در این تحقیق جهت برآورد توزیع فراوانی سیلاب از روش توزیع پیرسون تیپ ۳ به لگاریتم مبنای ۱۰ ارائه‌شده توسط سازمان‌های فدرال بازسازی رودخانه امریکا استفاده شد و دبی پیک‌های سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف و احتمال وقوع آن بر اساس آمار دبی حداکثر روزانه شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل، برای ایستگاه هیدرومتری دوست بیگلو در پایین‌دست رودخانه قره‌سو (بازه هفتم) محاسبه گردید (جدول ۱).

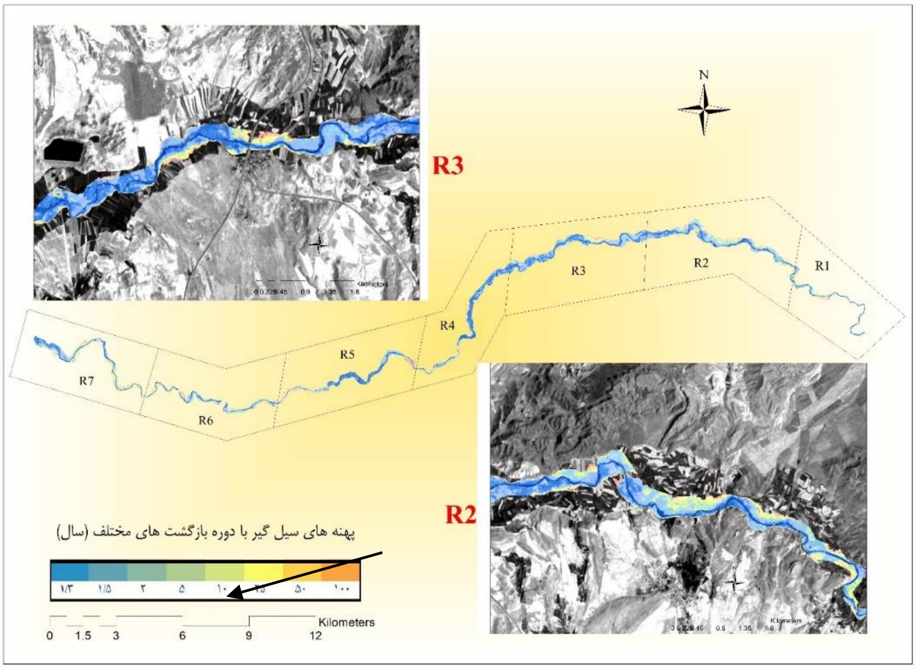
جدول ۱. دبی پیک‌های سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف و احتمال وقوع آن برای ایستگاه هیدرومتری دوست بیگلو

دوره بازگشت	ایستگاه هیدرومتری دوست بیگلو	
	احتمال وقوع	حداکثر دبی لحظه‌ای (مترمکعب در ثانیه)
۱/۳ ساله	۰/۲۵۵	۲۰
۱/۵ ساله	۰/۳۲۵	۲۵/۵
۲ ساله	۰/۵۰۰	٤۰/۳۵
۵ ساله	۰/۸۰۰	۹٦/۳٦
۱۰ ساله	۰/۹۰۰	۱۵٤/۲۱
۲۵ ساله	۰/۹٦۰	۲۵٤/۸۷
۵۰ ساله	۰/۹۸۰	۳۵۲/۵
۱۰۰ ساله	۰/۹۹۰	٤۷۲/۸٤
۲۰۰ ساله	۰/۹۹۵	٦۱۸/۳۷

ضریب زبری مانینگ[1] بستر و کناره‌های رودخانه قره‌سو با استفاده از نقشه کاربری اراضی و انجام مطالعات میدانی برای هر یک از مقاطع عرضی بر اساس جدول کاون[2] محاسبه گردید. مقدار ضریب زبری برای بیشتر مقاطع عرضی برای کناره‌های رودخانه عدد ۰/۰۸ و برای بستر رودخانه عدد ۰/۰٤۲ به دست آمد. نوع جریان در رودخانه‌ها به‌طورکلی ممکن است زیر بحرانی[3]، فوق بحرانی[4] و یا مختلط[5] باشد. در رودخانه‌های کوهستانی معمولاً جریان فوق

1 Manning's Roughness Coefficients
2 Cowan
3 Sub Critical
4 Super Critical
5 Mixed

بحرانی و در رودخانه‌های سیلاب‌دشتی نوع جریان زیر بحرانی می‌باشد. با توجه به این‌که در منطقه موردمطالعه، رودخانه هم در محدوده واحد کوهستانی و هم در محدوده دشت سیلابی جریان دارد، نوع جریان برای رودخانه قره‌سو مختلط در نظر گرفته شد.



شکل ۳. پهنه‌های سیل گیر دشت سیلابی رودخانه قره‌سو با دوره بازگشت‌های مختلف

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود افزایش سطح سیلاب در محدوده دشت سیلابی تا دوره بازگشت ۲۵ ساله دارای آهنگ نسبتاً سریعی بوده و پس‌ازاین دوره بازگشت، روند به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد و شاید بتوان گفت یکی از دلایل تعیین محدوده بستر رودخانه‌ها بر اساس دوره بازگشت ۲۵ ساله، همین مسأله باشد. باید افزود، به‌موازات کاهش یا افزایش سطح سیلابی عمق رودخانه نیز افزایش و کاهش خود را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه پهنه‌های سیل گیر دشت سیلابی رودخانه قره‌سو، بیشترین عرض پهنه‌های سیلابی برای دوره‌های مختلف در بازه‌های دوم، سوم و چهارم (از روستای قدیرلو تا روستای لعل گنج) قابل‌مشاهده است. در این بازه‌ها عرض پهنه سیلابی برای دوره بازگشت ۲۵ سال به‌طور متوسط نزدیک ۵۰۰ متر می‌باشد. در بازه‌های اول و بخشی از بازه ششم و هفتم به علت تنگ‌شدگی مجرا و وجود مانع (جریان رودخانه در واحد کوهستان) از عرض پهنه‌های سیل گیر در این بازه‌ها کاسته و متقابلاً بر عمق آب‌گرفتگی افزوده‌شده است. با توجه به استقرار روستاهای کنگرلو، آق درق و دوست بیگلو در حاشیه رودخانه قره‌سو، لزوم توجه به پهنه‌بندی سیلاب‌های این رودخانه بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

کاربری اراضی اطراف رودخانه قره‌سو بیشتر از نوع کاربری کشاورزی (زراعت و باغات) می‌باشد. هم‌پوشانی لایه‌های پهنه‌های سیلابی بر روی تصویر ماهواره‌ای IRS منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد که بیشتر این اراضی کشاورزی در ناحیه بستر و حریم رودخانه قرارگرفته (با توجه به دوره بازگشت ۲۵ سال) که این امر می‌تواند خساراتی را هنگام وقوع سیل برای کشاورزان این منطقه تحمیل کند. برای مثال رخداد سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ ساله، محدوده‌ای به مساحت ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات حاشیه رودخانه قره‌سو را تحت تأثیر قرار می‌دهد.



شکل ٤. عرض و عمق رودخانه در بخشی از (بازه دوم)



شکل ۵. کشت محصولات کشاورزی در محدوده بستر رودخانه (بازه دوم)

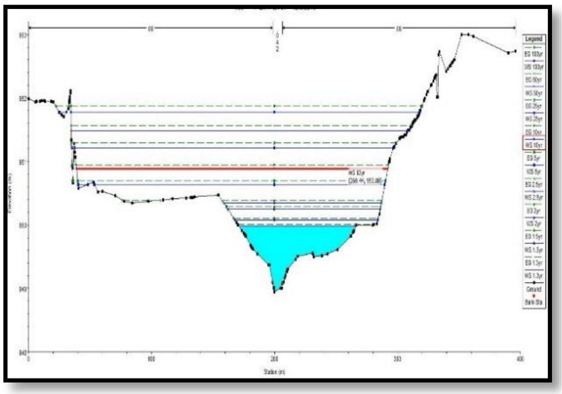


شکل ٦. پشته‌های میانی تثبیت‌شده در داخل مجرای رودخانه قره‌سو (بازه دوم)

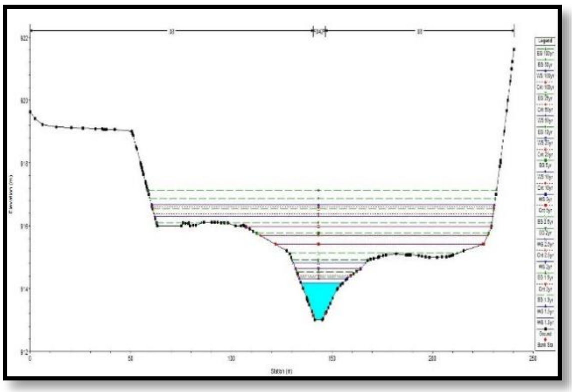


شکل ۷. پشته‌های میانی و کناری تثبیت‌شده در داخل و کنارۀ مجرای رودخانه قره‌سو (بازه چهارم)

بررسی پلانفرم[1] رودخانه قره‌سو نشان داد شاخص سینوزیته برای بازه اول ۱/۶۱، بازه دوم ۱/۳۸، بازه سوم ۱/۳۵، بازه چهارم ۱/۵۸، بازه پنجم ۱/٤٤، بازه ششم ۱/۵۵ و بازه هفتم ۱/٦۲ می‌باشد که درمجموع با توجه به میانگین شاخص سینوزیته برای بازه‌ها (عدد ۱/۵۱) می‌توان مجرای رودخانه قره‌سو را از نوع مئاندری درنظر گرفت. بالادست رودخانه قره‌سو، در محدوده مربوط به بازه اول، مورفولوژی مجرای رودخانه از نوع حوضچه و خیزآب[2] می‌باشد. بستر رودخانه در این بازه برخلاف بازه‌های دیگر از رسوباتی در اندازه قلوه‌سنگ و پاره‌سنگ تشکیل‌شده است؛ اما نوع رسوبات بستر رودخانه در بازه‌های پایین‌دست تغییر کرده و بیشتر از نوع ماسه و گراول می‌باشد. در طول مسیر رودخانه، در بیشتر نقاط شاهد فرم‌هایی چون پشته‌های نقطه‌ای[3] هم در داخل و هم در کناره‌های مجرا می‌باشیم که رشد پوشش گیاهی بر روی آن‌ها نشان‌دهنده تثبیت این رسوبات در طول سال‌ها بوده است. با استقرار پوشش گیاهی رود کنار[4] نسبتاً متراکم در اطراف مجرای رودخانه قره‌سو و دبی تنظیم‌شده، به نظر می‌رسد رودخانه در حالت تعادل دینامیکی[5] به سر می‌برد.



شکل ۸. مقطع عرضی و سطوح سیلابی در بازه سوم برای دوره بازگشت ۱/۳ ساله

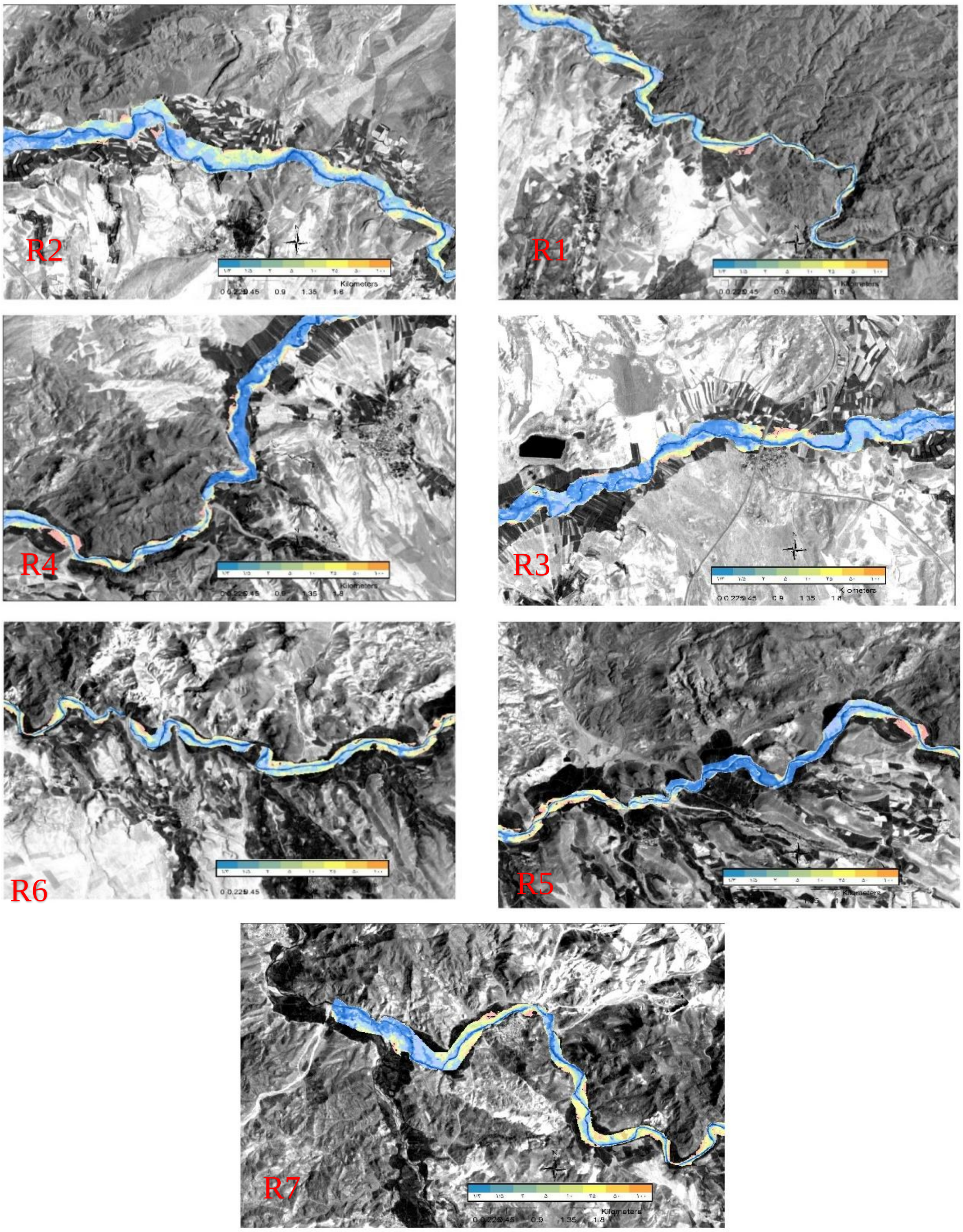


شکل ۹. مقطع عرضی و سطوح سیلابی در بازه چهارم برای دوره بازگشت ۱/۳ ساله

شکل ۸ و ۹، نشان‌دهنده دبی غالب[6] رودخانه قره‌سو در مقاطعی از بازه سوم و چهارم است که به علت فراوانی تکرار این دبی، کنترل فرم و ابعاد عمومی مجرای رودخانه قره‌سو بر عهده این دبی می‌باشد. به عقیده لئوپلد و ولمن این دبی (دبی غالب) بر دوره بازگشت ۱/٤ ساله منطبق می‌باشد (یاسی،۱۳۹٤: ۸٤). بررسی مقاطع عرضی رودخانه

1 Planform
2 Pool-Riffle
3 Point Bars
4 Riparian
5 Dynamic Equilibrium
6 Dominant Discharge

قره‌سو نشان می‌دهد که با افزایش دوره بازگشت میزان دبی نیز افزایش‌یافته و بر سطح سـیلاب در هـر یـک از مقـاطع افزوده می‌شود. همچنین با افزایش سطح مقطع پروفیل عرضی، ارتفاع پهنهٔ سیل گیر نیز کاهش می‌یابد.



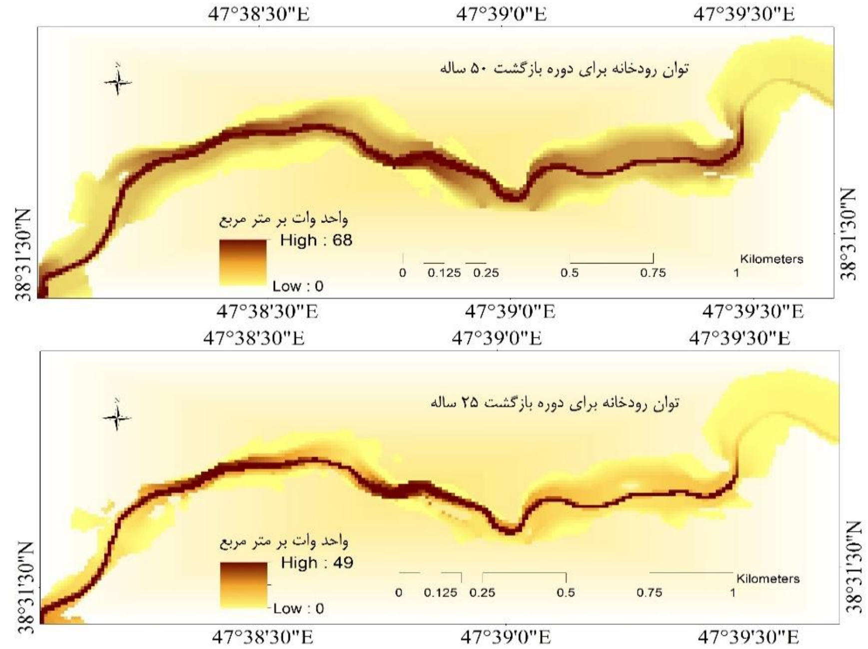
شکل ۱۰. پهنه‌های تحت تأثیر خطر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف به تفکیک بازه‌های هفت‌گانه

۳-۲- اثرات مورفولوژیکی تغییرات توان رودخانه

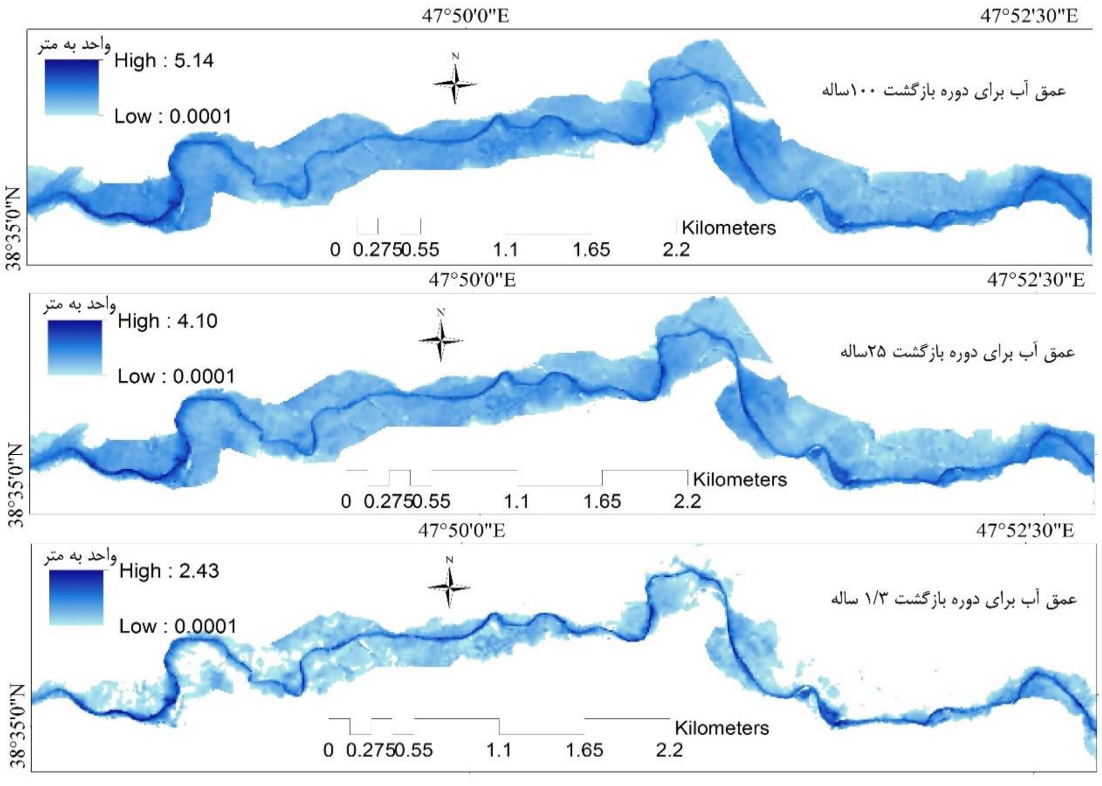
توانایی انجام کار ژئومورفیک رودخانه‌ها، معمولاً به‌عنوان توان رودخانه[۱] (SP) بیان می‌شود. سیلاب‌ها، با افزایش قابل‌توجه توان رودخانه، نقش چشمگیری در تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه‌ها ایفا می‌کنند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). هنگامی‌که SP محلی، به‌طور قابل‌توجهی نسبت به SP بالادست خود بیشتر باشد، فرسایش غلبه یافته و در حالت عکس، نهشته‌گذاری اتفاق می‌افتد. در رودخانه قره‌سو به علت کاهش شیب و ازاین‌رو کاهش سرعت و تنش برشی مجرا یک‌روند کلی کاهش توان رودخانه در جهت پایین‌دست دیده می‌شود. توان رودخانه در بازه اول با توجه به این‌که بستر رودخانه در این نواحی بیشتر از نوع بستر سنگی تثبیت‌شده[۲] و رسوبات کناره‌ها درشت‌دانه می‌باشد، توانایی کف کنی و همچنین جابجایی عرضی را پیدا نمی‌کند. درواقع در این بازه، جریان رودخانه قره‌سو در واحد کوهستان سبب شده است که رودخانه، تحت تأثیر شدید متغیر زمین‌شناسی قرار گیرد. در این بازه توان رودخانه در حوضچه‌ها به‌مراتب بیشتر از خیزآب‌ها می‌باشد.

در بازه‌های دوم، سوم و اوایل بازه چهارم پخش جریان آب در بستر دشت سیلابی باعث اتلاف قابل‌توجه انرژی رودخانه شده و توان رودخانه مقادیر پایینی را (حتی برای دبی‌های حداکثر سالانه) نشان می‌دهد. فراوانی پشته‌های نقطه‌ای، چه در داخل مجرا و چه در کناره محدب خم‌های مئاندرها در این بازها گواه این امر می‌باشد. در این بازه‌ها جنس بستر رودخانه تغییر کرده و بیشتر از نوع گراول و ماسه می‌باشد . در اواخر بازه پنجم و بازه ششم شاهد یک افزایش در توان رودخانه قره‌سو در اکثر دوره‌های بازگشت می‌باشیم. شاید دلیل این امر کاهش پهنای عرض دشت سیلابی به علت کنترل متغیر زمین‌شناسی و افزایش دبی رودخانه به علت ورود تلاقی رودخانه خیاو چای در بالادست این بازه‌ها می‌باشد. در بازه (هفتم) با کاهش محسوس شیب رودخانه، توان رودخانه نیز به‌عنوان متغیری وابسته به دبی و شیب، کاهش می‌یابد. با مقایسه توان رودخانه برای دوره‌های بازگشت مختلف می‌توان نتیجه گرفت که پتانسیل تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه قره‌سو با توجه به افزایش چشم‌گیر توان رودخانه در دوره‌های بازگشت بیش از ۲۵ سال، افزایش خواهد یافت (شکل ۱۱). هرچند همان‌گونه که اشاره شد، رودخانه اکنون در حالت تعادل دینامیکی بوده و مهاجرت جانبی[۳] مجرا در مسیر رودخانه بسیار کم اتفاق می‌افتد.

1 Stream Power
2 Armoring
3 Lateral Migration



شکل ۱۱. شبیه‌سازی تغییرات توان رودخانه برای دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله در بخشی از بازه چهارم



شکل ۱۲. شبیه‌سازی تغییرات عمق آب، برای دوره‌های بازگشت ۱/۳، ۲۵ و ۱۰۰ ساله در بخشی از دوم و سوم

همچنین با بررسی نقشه توزیع عمق آب متوجه می‌شویم که توپوگرافی مجرا نقش مهمی در توزیع پهنه‌های سیلابی دارد به‌نحوی‌که هر جا عرض مجرا افزایش پیداکرده پهنای سطح سیلابی نیز افزایش داشته و برعکس در مناطقی که مجرا رودخانه دچار تنگ‌شدگی گردیده، بر عمق سطح سیلابی افزوده‌شده است. نتایج شبیه‌سازی تغییرات عمق آب رودخانه قره‌سو نیز نشان داد که عمق آب برای سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۱/۳ ساله ۲/۴۳ متر، برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله ٤/۱۰ متر و برای سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ٥/١٤ متر خواهد رسید (شکل ۱۲).

٤- جمع بندی

در این پژوهش بازه‌ای ۷۲ کیلومتری از رودخانه دائمی قره‌سو (واقع در استان اردبیل) جهت پهنه‌بندی سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف موردبررسی قرار گرفت. برای شبیه‌سازی سیلاب‌های مجرای رودخانه قره‌سو از مدل‌های هیدرودینامیکی HEC-RAS استفاده شد. پیش‌پردازش و پس پردازش این داده‌ها در محیط نرم‌افزاری Arc-GIS صورت گرفت. از مزیت‌های این روش، نمایش پراکنش فضایی سیلاب‌ها با دوره بازگشت مختلف و همچنین نمایش مشخصات جریان در هر نقطه از مسیر رودخانه می‌باشد. درواقع شبیه‌سازی جریان با استفاده از این روش می‌تواند دید مناسبی نسبت به مناطق امن و همچنین مناطق مسکونی و کشاورزی درخطر مخاطره سیلاب ارائه دهد. نتایج پهنه‌بندی سیلاب رودخانه قره‌سو نشان داد که با رخداد سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال (مبنای تعیین بستر رودخانه) مساحتی در حدود ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات حاشیه رودخانه قره‌سو به زیرآب رفته و خساراتی را برای کشاورزان این منطقه به وجود خواهد آورد. به‌عبارت‌دیگر ورود کشاورزان به بستر و حریم رودخانه قره‌سو سبب کاهش عرض مجرای رودخانه (تنگ‌شدگی مجرا) و همچنین کاهش ظرفیت انتقال جریانات سیلابی می‌شود که این به‌نوبه خود سبب افزایش ریسک خطرات ناشی از سیلاب‌های بزرگ است. مطالعه شکل مسطحاتی مجرای رودخانه قره‌سو نشان داد، در بیشتر قسمت‌ها مجرای رودخانه از نوع مئاندری می‌باشد. میانگین شاخص سینوزیته برای هفت بازه ۱/۵۱ محاسبه گردید. در طول مسیر رودخانه، در بیشتر نقاط شاهد فرم‌هایی چون پشته‌های نقطه‌ای هم در داخل و هم در کناره‌های مجرا می‌باشیم که رشد پوشش گیاهی بر روی آن‌ها نشان‌دهنده تثبیت این رسوبات در طول سال‌ها بوده است. با استقرار پوشش گیاهی نسبتاً متراکم در اطراف مجرای رودخانه قره‌سو و دبی تنظیم‌شده، به نظر می‌رسد رودخانه اکنون در حالت تعادل دینامیکی به سر می‌برد. رودخانه قره‌سو در محدوده موردمطالعه، هم در واحد کوهستان و هم در واحد دشت سیلابی جریان دارد. مورفولوژی واحد کوهستان رودخانه قره‌سو تحت تأثیر متغیر زمین‌شناسی و مورفولوژی دشت سیلابی آن در کنترل متغیرهای آنتروپوژنیک می‌باشد. بر اساس ماده ۱۰ آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها باید مناطق تحت تصرف بستر و حریم

رودخانه، توسط شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل تعیین تکلیف گردد. جهت پـایش لحظـه‌ای و اطلاع‌رسـانی آنلـاین مخاطره سیلاب نیز، استفاده از سامانه Web GIS در مدیریت کلان دشت‌های سیلابی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

ارزنلو، ابوالفضل؛ ۱۳۹٤. بررسی شکست سد خاکی شهر چای ارومیه ناشی از روگذری جریان و پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل HEC- RAS و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: یوسف حسن زاده، سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه ارومیه.

رضایی مقدم، محمدحسین؛ رجبی، معصومه؛ دانشفراز، رسول؛ خیری زاده، منصور؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی و بررسی اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه زرینه‌رود. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۷، ۱-۲۰.

غفاری، گلاله ؛ امینی، عطااله؛ ۱۳۸۹. مدیریت دشت‌های سیلابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی رودخانه قزل‌اوزن). فضای جغرافیایی، شماره ۳۲، ۱۳٤-۱۱۷.

قمی اویلی، فرشته؛ صادقیان، محمدصادق؛ جاوید، امیرحسین؛ میرباقری، سیداحمد؛ ۱۳۸۹. شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS. علوم و فنون منابع طبیعی، شماره ۱. ۱۱۵- ۱۰۵.

یاسی، مهدی؛ ۱۳۹٤. مهندسی رودخانه پیشرفته (قسمت اول)، جزوه درسی کارشناسی ارشد و دکتری، انتشارات دانشگاه ارومیه.

یمانی، مجتبی؛ تورانی، مریم ؛ چزغه، سمیرا؛ ۱۳۹۱. تعیین پهنه‌های سیل گیر با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱، ۱-۱٦.

Bates, P. D., 2004. Computationally efficient modelling of flood inundation extent. In European Science Foundation Workshop, edited by BIOS, Bologna.

Brunner, Gary.W 2010. HEC-RAC River analysis system hydraulic reference manual, us army corps of engineers, version 4.1.

Cameron, T., & Ackerman, P. E., 2009. HEC-GeoRAS: GIS Tools for the Support of HEC-RAS Using ArcGIS, Version 4.2, CPD83. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center: Davis, California, 246.

Di Baldassarre, G., 2012. Floods in a changing climate: Inundation modelling (Vol. 3). Cambridge University Press.

Gül, G. O., Harmancıoğlu, N., & Gül, A., 2010. A combined hydrologic and hydraulic modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures. Natural hazards, 54(2), 245-260.

Hirabayashi, Y., & Kanae, S., 2009. First estimate of the future global population at risk of flooding. Hydrological research letters, 3, 6-9.

Horritt, M. S., Di Baldassarre, G., Bates, P. D., and Brath, A., 2007. Comparing the performance of 2-D finite element and finite volume models of floodplain inundation using airborne SAR imagery. Hydrological Processes, 21, 2745–2759.

Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J., 2012. Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. The World Bank.

Knebl, M. R., Yang, Z. L., Hutchison, K., & Maidment, D. R., 2005. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San

Antonio River Basin Summer 2002 storm event. Journal of Environmental Management, 75(4), 325-336.

Kundzewicz, Z. W., Hirabayashi, Y., & Kanae, S., 2010. River floods in the changing climate—observations and projections. Water Resources Management, 24(11), 2633-2646.

Maidment, D. R., & Tate, E. C., 1999. Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS (Doctoral dissertation, Center for Research in Water Resources, University of Texas at Austin).

Merwade, V., 2004. Geospatial description of river channels in three dimensions (Doctoral dissertation).

Mosquera-Machado, S., & Ahmad, S., 2007. Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia. Water resources management, 21(3), 591-609.

Patro, S., Chatterjee, C., Singh, R., & Raghuwanshi, N. S., 2009. Hydrodynamic modelling of a large flood-prone river system in India with limited data. Hydrological Processes, 23(19), 2774-2791.

Wilby, R. L., & Keenan, R., 2012. Adapting to flood risk under climate change. Progress in Physical Geography, 36(3), 348-378.

Wohl, E. E. (Ed.)., 2000. Inland flood hazards: human, riparian, and aquatic communities. Cambridge University Press.

Yang, J., Townsend, R.D., & Daneshfar, B., 2006. Applying the HEC-RAS model and GIS techniques in river network floodplain delineation. Canadian Journal of Civil Engineering, 33 (1), 19-28.